

적응형 정합필터링을 통한 전력선통신에서의 임펄스 잡음 제거기법에 관한 연구

*손주희, *신명철, **박영, **권삼영, **박현준, ***^(C)차재상
*성균관대학교, **철도기술연구원, ***서경대학교

Adaptive matched filter based impulse noise cancellation method for PLC

*J.H. Son *M.C Shin, **Y.PARK, **Kwon, Sam-Young, **Park, Hyun-June and ***^(C)J.S. Cha.
*Sungkyunkwan univ., **Korean railroad research institute, ***Seokyeong univ.

^o 교신저자(Corresponding author) - e-mail : chajs@skuniv.ac.kr (02-940-7468)

Abstract - 전력선통신 시스템은 일반적인 통신시스템과는 달리 전력선에 연계된 다양한 부하기들의 동작 및 변동에 따른 잡음이 발생한다. 특히 부하의 기동, 정지 시 발생하는 임펄스 잡음은 통신성능 저하의 주된 요인임으로 통신성능 향상과 신뢰성 높은 데이터 전송을 위하여 임펄스 잡음 제거와 임펄스 잡음 영향을 감소하기 위한 방안이 절실히 요구되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 전력선 통신 시스템에서 전송된 데이터를 오류 없이 복원해 내기 위하여 적응형 정합필터링 기법을 제안하고, 수신 측에서 임펄스잡음에 따른 최적의 탭 계수를 선택해 효과적으로 임펄스잡음을 제거 하는 기법을 확립하였다. 또한, 제시한 알고리즘에 다양한 임펄스 잡음의 모델을 반영하여 비트오율에 대한 모의실험을 행하고 결과를 도출함으로써 제안 방식의 유용성과 신뢰성을 확인하였다.

1. 서 론

현재 옥내(Indoor)에서 홈 네트워크 기반의 통신을 행하는 전력선통신(PLC) 시스템에 대한 관심이 대두되고 있다. 일반적인 통신 시스템의 채널환경과는 달리 PLC 전송채널의 특징은 가정 내 전력선상에서는 배경잡음(background noise)과 같은 기본적인 잡음 외에도, 부하 변동에 의한 다양한 임펄스성 잡음이 야기된다[1].

특히 부하의 기동, 정지 시 발생하는 임펄스잡음 등은 전력선 통신 성능에 많은 영향을 미치므로 충분히 고려해야 한다. 그럼에도 불구하고 종래의 전력선통신에서 발생하는 임펄스잡음에 대해 통신성능을 개선하기 위한 오류정정기법이나 인터리빙 기법만을 적용한 논문이 대부분이며, 임펄스 잡음을 적응적으로 제거하여 전송된 데이터를 오류 없이 복원해 주는 연구는 미비한 실정이다[2].

따라서 본 논문에서는 전력선 통신 시스템이 갖고 있는 독특한 성질인 전력 선로상의 부하의 변동특성이 반영된 다양한 임펄스 잡음의 종류를 실측한 후, 이를 수신단에서 실측한 임펄스 잡음에 대한 정보를 미리 저장하여, 전력선 통신에서의 데이터 전송 시 임펄스 잡음이 발생하였을 경우, 해당하는 임펄스잡음만을 적응적으로 제거해주는 적응형 정합 필터링 기법을 제안한다. 또한 임펄스 잡음 환경하에서 적응형 정합 필터링을 적용한 BER(Bit Error Rate) 성능의 분석을 통해 본 논문에서 제시한 적응형 정합 필터링이 임펄스 잡음 환경하에서 효율적으로 통신 성능을 유지함을 검증하고자 한다.

2. 전력선통신에서의 잡음특성

2.1 전력선 통신에서의 잡음 및 임펄스잡음의 특징

전력선통신에서 전송채널의 특징을 결정짓는 중대한 요소에는 잡음(noise), 신호의 감쇠(Attenuation), 임피던스 부정합(Impedance Mismatching)등이 고려 될 수 있다. 일반적으로 전력선에서 발생하는 잡음의 종류를 고려하면

다음과 같이 분류할 수 있다.

- 1) 배경잡음 (Background noise)
- 2) 협대역 간섭잡음 (Narrow band interference)
- 3) 임펄스잡음(Impulse noise)
 - 주기성 임펄스잡음(동기형, 비동기형 임펄스잡음)
 - 비주기성 임펄스 잡음

이러한 여러 잡음들 중 통신 성능 열화에 주된 요인인 임펄스잡음은 크게 컴퓨터 및 전자제품의 전원변환장치로 인해 발생하는 주기성 임펄스잡음과 인위적으로 스위치를 ON/OFF 하여 생기는 비주기성 임펄스잡음으로 나눌 수 있다.

2.2 임펄스잡음의 측정

본 절에서는 앞서 임펄스 잡음을 발생시키는 부하들을 선정하여 실측하였다. 실측한 임펄스 잡음의 데이터는 본 논문에서 제안하는 적응형 정합필터링 기법을 이용한 전력선 통신의 채널모델로 적용되어진다.

그림 1은 임펄스 잡음의 특성을 측정하기 위하여 구성한 장치 및 측정 방법에 대하여 나타낸 구성도이다. 그림 1에 나타난 구성도를 살펴보면, 우선 전력선에 임펄스 잡음을 발생시키는 부하를 연결하였으며, 임펄스 잡음의 특성을 전압신호 및 전류신호로 분류하여 추출할 수 있는 회로(Circuit)를 구성하였다. 또한 이 회로를 통과한 임펄스 잡음의 전압 및 전류신호의 데이터 수집은 LabVIEW를 이용하였다.

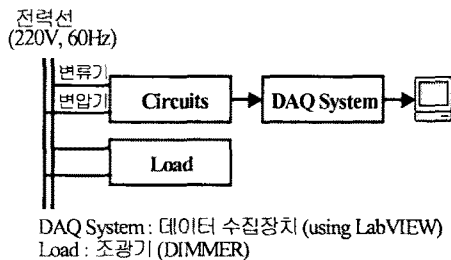


그림 1. 임펄스 잡음의 특성을 측정하기 위한 구성도

그림 2와 3은 측정한 주기성 임펄스 잡음 및 비주기성 임펄스 잡음의 파형이다. 그림 2의 주기성 임펄스 잡음은 동기형 임펄스잡음에 해당하는 조광기 부하모델을 측정한 것이며, 주기적으로 발생하는 임펄스 잡음 중 한 주기의 임펄스 잡음의 전압신호에 고역통과필터(HPF; high pass filter)를 통과시킨 파형을 나타낸 것이다.

그림 3의 비주기성 임펄스 잡음은 동일한 부하모델에 스위치를 임의로 조절하여 측정한 것으로서, 주기성 임펄스 잡음과 동일하게 한 주기의 임펄스 잡음의 전압신호만을 나타낸 것이다.

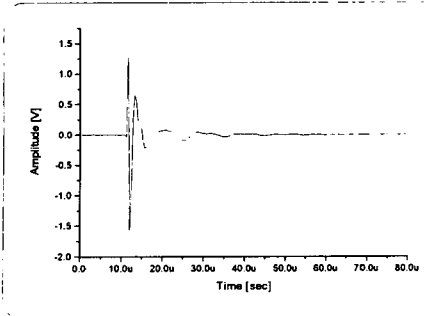


그림 2. 주기형 임펄스 잡음 (1 주기 분)

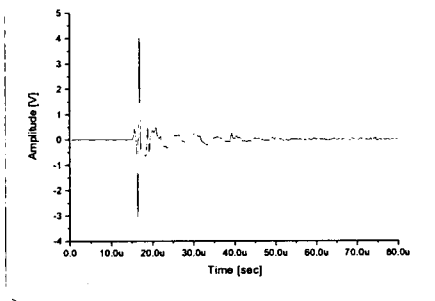


그림 3. 비주기형 임펄스 잡음

표 1은 상기 측정된 임펄스 잡음의 특성을 정리하여 나타내었다.

표 1. 임펄스잡음별 특성

임펄스 잡음 종류	임펄스 폭	임펄스 진폭
주기성 임펄스잡음 (조광기)	15 μ s	1.4 V
비주기성 임펄스잡음 (스위치 ON/OFF 시 발생)	20 μ s	4.2 V

본 논문에서는 이러한 다양한 임펄스 잡음에 대한 특성을 고려하여 임펄스 잡음제거를 위한 적응형 정합필터를 제안하였다.

3. 임펄스 잡음제거를 위한 적응형 정합필터

3.1 적응형 정합필터의 제시

전력선 통신에서의 송신기에서는 데이터 비트에 따라서 매핑되는 기저 대역의 양극형 펄스신호를 펄스성형을 거쳐서 유한 개 송신하고 수신기에서는 이 펄스신호의 유무를 송신 타이밍에 동기 시켜서 검출한다. 하지만 전력선 전송로에서 배경잡음이나 임펄스 잡음등의 방해가 있다면 1에 상당하는 펄스신호를 1로 검출하기 어려운 경우나, -1에 상당하는 파형에 잡음이 혼합되어 1로 검출되는 등의 오류가 발생할 수 있다. 만약 잡음이 없는 상태에서 펄스 신호를 전송하면 정확하게 복조시킬 수 있지만 잡음 전력이 펄스 신호의 전력보다 높으면 판정오류를 유발한다. 따라서 펄스의 폭(주기 T)동안 양극형 펄스신호의 존재 유무를 판별하는 순간에 입력 신호의 성분을 최대로 강조하고, 동시에 잡음 성분을 억제시키는 필터를 정합필터라 하고 본 논문에서 제안하는 적응형 정합필터는 입력되는 신호에 따라 최적의 에러 확률을 적응적으로 나타내게 하는 기능을 갖는 필터이다[3]. 즉, 전력선통신에서 발생하는 다양한 임펄스잡음에 대해서 임펄스잡음의 종류에 따라 임펄스잡음의 폭이나 임펄스 잡음의 진폭의 패턴은 유사하므로 이 패턴들을 각각 수신단의 정합필터뱅크를 구성하는 정합필터

들의 참조신호 정보로서 저장해두고, 수신기에 임펄스 잡음이 부가된 입력신호에 대하여 정합필터뱅크내의 정합필터들의 자기상관치를 각각 도출해, 이를 비교 평가한 후에 최적임펄스 패턴을 도출한다. 이를 다시 제거하는 기법을 적용함으로써 임펄스 잡음에 의한 영향을 최소화 할 수 있다. 또한 본 논문에서 제안한 알고리즘은 길이가 L인 신호의 자기 상관치의 최대값은 L샘플 때 갖는 특징으로 인해 정합필터뱅크와 임펄스 신호가 포함된 수신신호를 상관시켰을 경우 임펄스 신호의 시간 정보에 대해 알 수 있으므로 주기성이나 비주기성 임펄스 잡음 모두에 대해 임펄스 잡음 제거가 효과적이다[4].

그림 4는 임펄스 잡음을 제거하기 위해 제안한 적응형 정합필터의 구조이다.

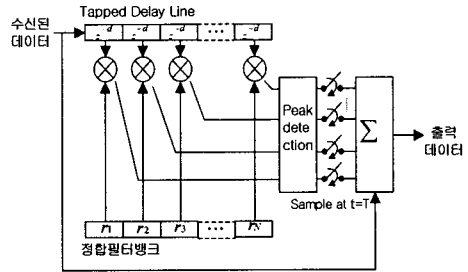


그림 4. 제안하는 적응형 정합필터의 구조

만약 수신단에 그림 2와 같은 조광기의 주기성 임펄스 잡음이 부가된 데이터가 수신되었을 경우 위의 그림 4의 구조에서와 같이 정합필터뱅크의 참조신호와 수신된 데이터와의 상관결과 값을 판별해 선출된 정합필터뱅크의 참조신호와와의 비교를 통해 부가된 임펄스 잡음의 패턴을 예상 할 수 있으므로 효과적으로 임펄스 잡음을 제거할 수 있다.

3.2 임펄스 잡음제거를 위한 적응형 정합필터 모델링

본 논문에서 제시하는 임펄스 잡음 제거를 위한 적응형 정합필터의 임펄스 응답은 그림 5와 같다[5].

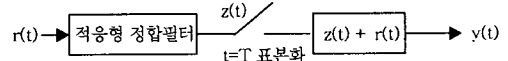


그림 5. 적응형 정합필터의 임펄스 응답

여기서 T는 판정을 하는 순간으로, 신호 폭이 T인 입력 신호의 한 주기 다 들어 왔을 때인 최적 상태를 의미한다. 이 때 $r(t)$ 는 수신된 데이터이며 식(1)과 같이 표현할 수 있다.

$$r(t) = s(t) + n(t) \quad (1)$$

여기서, $n(t)$ 는 부가적 백색 가우시안 잡음(AWGN)과 임펄스 잡음을 나타낸다. 적응형 정합필터를 통과한 $z(t)$ 는 다음과 같이 수신데이터 $r(t)$ 와 정합필터뱅크 $h(t)$ 의 상관으로 나타낼 수 있다.

$$z(t) = \int_0^t r(\tau)h(\tau)d\tau \quad (2)$$

적응형 정합필터의 출력 $z(t)$ 를 통해 선출된 정합필터뱅크의 임펄스 패턴으로 최적의 임펄스 잡음 제거 신호를 가지며, 이 신호와 수신 데이터 $r(t)$ 의 합으로 얻어지는 출력 데이터 $y(t)$ 에 대하여 가우시안 잡음 및 임펄스 잡음 환경에서의 BPSK를 적용한 오차 확률은 다음과 같다.

$$Q(x) = \int_x^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2} dt \quad (3)$$

$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) \quad (4)$$

여기서, $Q(x)$ 는 가우시안 분포에 관한 에리확률을 표시하기 위해 일반적으로 정의된 상보 에리 함수 (complementary error function)이며, 오차확률 P_b 에서의 E_b 는 비트당 신호에너지고, N_0 는 잡음 전력 스펙트럼 밀도이다.

3.3 시뮬레이션 결과 및 고찰

본 논문에서는 부하변동으로 인한 다양한 임펄스 잡음 환경 하에서의 적응형 정합필터를 통한 통신 성능 향상을 확인하기 위하여 상기 실측된 임펄스 잡음을 기반으로 BER(Bit Error rate) 성능을 도출하였다.

표 2는 BER 성능을 도출하기 위한 주요 파라미터이다.

표 2. 시뮬레이션을 위한 주요 파라미터

채널	가우시안 잡음 + 주기성 임펄스 잡음 (조광기)
임펄스잡음의 폭(Width)	15 μ s
임펄스잡음의 진폭	1.4V
변조방식	BPSK
전송된 데이터 수	10^6
정합필터 뱅크의 수	2
필터	적응형 정합필터
SNR	0~16 dB

그림 6에서는 일반적인 전송로의 배경잡음을 의미하는 가우시안 잡음환경과 전력선 통신에서 발생하는 임펄스 잡음에 대하여 본 논문에서 제안하는 적응형 정합필터를 적용한 경우와 적용하지 않은 경우의 BER 통신성능을 나타낸 것이다. 그림 6에서 보는 바와 같이 적응형 정합필터를 적용하지 않은 경우에는 E_b/N_0 값이 발산되어 상당히 열악한 통신성능을 나타낸다. 이와 반대로 제안한 적응형 정합필터를 적용한 경우 비트오율 10^{-3} 을 기준으로 약 7dB로 통신성능이 원활하게 유지됨을 확인하였다.

또한 그림 7에서는 정합필터 뱅크 효율성에 따른 BER 성능 비교 결과를 나타내었으며, 그림 7에서 보는 바와 같이 부가된 임펄스 잡음 제거 효율이 50%일때는 E_b/N_0 값이 발산되지만 임펄스 잡음 제거 효율이 극대화되었을 때는 비트오율 10^{-3} 일 때는 약 7dB로 그림 6의 적응형 정합필터를 적용하였을 때와 유사한 통신성능 확인되었다. 따라서 부하변동으로 인한 임펄스 잡음환경에 대하여 적응형 정합필터 방식을 적용하였을 경우, 전력선 통신에서 발생하는 다양한 임펄스 잡음을 적용적으로 제거함으로써 전력선 통신에서의 원활한 통신 성능을 유지할 수 있었다.

4. 결 론

본 논문에서는 전력선 통신 시스템에서 전송된 데이터를 오류 없이 복원해 내기 위하여 적응형 정합필터링 기법을 제안하였고, 수신 측에서 임펄스잡음에 따른 최적의 탭 계수를 선택해 효과적으로 임펄스잡음을 제거 하는 기법을 확립하였다. 또한, 제시한 알고리즘에 대해 다양한 임펄스 잡음의 모델을 반영하여 비트오율에 대한 모의실험을 행하였으며 그 결과 종래의 단일 정합필터로 임펄스 잡음을 제거하는 방식에 비해 제안 방식의 우수성과 신뢰성을 확인

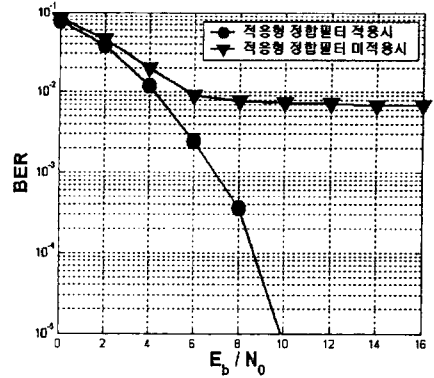


그림 6. 제안한 적응형 정합필터 적용여부의 BER 성능 비교

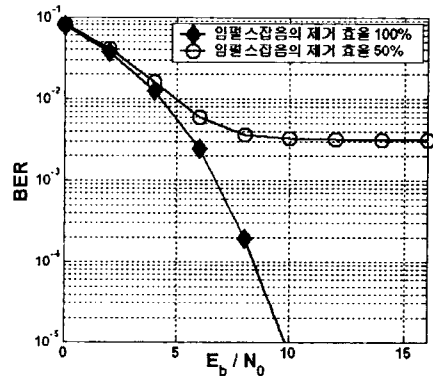


그림 7. 임펄스 잡음의 제거효율 BER 성능 비교 하였다. 따라서 본 논문에서 새롭게 제시하는 적응형 정합

필터링 기법은 실측된 임펄스 잡음을 반영한 상태에서 항상 신뢰성 높은 통신성능을 유지하는 전력선 통신 기술로서 향후, 정합필터의 하드웨어 레지스터의 수를 줄이기 위한 방안과 다양한 임펄스 잡음 환경에서의 성능개선을 통해 미래의 혁신적인 상용화 기술로서 이용될 수 있으리라 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 최영관, 박계홍, 서종환, 차재상, 서희석, 신명철, "광대역 PLC채널의 모델링 분석에 관한 연구", 대한전기학회 하계 학술대회논문집, 전력계통A권, pp.271~273, 2003
- [2] Michel ROUSSEAU, Patrick MOREAU, "Characterization and optimization of multicarrier-technologies over PLC channel", ISPLC2001, pp299~304, 2001
- [3] Jae-sang Cha, Sang-yule Choi, Jong-wan Seo, Seung-youn Lee, and Myung-chul Shin, "Novel Ternary ZCD Codes With Enhanced ZCD Property and Power-efficient MF Implementation", Proc. IEEE ISCE'02, Erfurt, Germany, Vol. 1, pp.F117-122, 2002
- [4] 허남영, 신명철, 서희석, 최상열, 이광엽, 박기현, 문경환, 차재상, "FPGA를 이용한 전력선통신의 기저대역 핵심코어설계", 대한전기학회 하계 학술대회논문집, 전력계통A권, pp.325_326, 2004
- [5] 이문호, "실용 디지털 통신 시스템 - 기초와 응용 -", pp88-93

본 연구내용의 일부는 산업사원부의 지원에 의한 기초전력연구원주관의 수행 과제(R 2004 B 228)의 결과물임.